

# Tectónica de piel fina en el Domo de Tharsis, Marte: pruebas de una neotectónica marciana

F. Anguita<sup>1</sup>, A. Farelo<sup>2</sup>, A. Márquez<sup>2</sup>, V. López<sup>3</sup>, C. Mas<sup>3</sup>, M.J. Muñoz Espadas<sup>3</sup> y J. Ruiz<sup>3</sup>

1 Depto. de Petrología y Geoquímica, Facultad de CC. Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid.

2 Centro de Astrobiología, INTA, 28850 Torrejón de Ardoz (Madrid).

3 Seminario de Ciencias Planetarias, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid.

## ABSTRACT

*A photogeological reconnaissance of Viking mosaics and images of the Tharsis dome, Mars, has been carried out. Fourteen new areas of transcurrent faulting have been located which, together with other structures previously detected, permit to support a model in which the Thaumasia Plateau, the southeastern part of the Tharsis dome, is proposed to be an independent lithospheric block that experienced buckling and thrust faulting in Late Noachian or Early Hesperian times as a result of an E-W-directed compression. Evidence is presented that this stress field, rather than the Tharsis uplift, was decisive in the inception of Valles Marineris, that we consider a transtensive, dextral accident. The buckling spacing permits moreover to tentatively reconstruct a Martian Hesperian lithosphere similar in thickness to the mean present terrestrial oceanic lithosphere, thus supporting the possibility of a restricted lithospheric mobility in that period. Tharsis lithosphere was again subjected to shear stresses in Amazonian times, a period in which important accidents, such as strike-slip faults, wrinkle ridges, and straight and sigmoidal graben were formed under a thin-skin tectonic regime. The possible causes of those stresses, and especially their relationships to a putative period of plate tectonics, are discussed.*

**Key words:** Mars, tectonics, comparative planetology.

## INTRODUCCIÓN

Dos de los dogmas de la geología de Marte son la inexistencia de reciclaje litosférico y, como consecuencia de ello, la ausencia de tectónica tangencial. Tan sólo Sleep (1994) ha propuesto un corto intervalo (~100 m.a.) de subducción en el periodo Hespérico<sup>1</sup>, hace unos 3.700 m.a. Los intentos de interpretar la tectónica de Marte se han centrado sobre todo en el domo de Tharsis, una cúpula volcano-tectónica de unos 10.000 km de diámetro que ocupa el hemisferio occidental del planeta. En la muy abundante bibliografía (ver p.ej. Anderson y Grimm, 1998, para una revisión) sólo se citan en Tharsis dos ejemplos de tectónica transcurrente: uno en Gordii Dorsum (5°N, 144°W), al suroeste de Olympus Mons (Forsythe y Zimbelman, 1988), y el otro en Nectaris Fossae (26°S, 53°W, al sur de Valles Marineris; Schultz, 1989). Sin embargo, una minuciosa revisión fotogeológica (tanto de mosaicos como de imágenes individuales de la serie Viking) de Tharsis nos ha permitido localizar catorce nuevos sistemas de fallas transcurrentes, la mayoría (Fig. 1) en el área de Thaumasia,

en el sureste de Tharsis. Uno de estos sistemas transcurrentes (un desgarre transtensivo dextral, para ser precisos) es Valles Marineris, tradicionalmente considerado (p. ej., Plescia y Saunders, 1982) como un conjunto de fosas tectónicas. Nuestra hipótesis se basa en (a) su geometría sigmoidal; (b) la fuerte anomalía de aire libre, que indicaría la presencia de una discontinuidad litosférica pasiva; (3) las diferencias estructurales a uno y otro lado de Valles Marineris, como es la muy diferente densidad de fracturas tipo cresta; y (d), el campo de esfuerzos propuesto para esta zona por Schultz y Tanaka (1994) y confirmado en este trabajo (Fig. 2), que permitiría explicar la formación de un desgarre transtensivo con la geometría de Valles Marineris.

## DISCUSIÓN

Schultz y Tanaka (1994) definieron deformaciones tipo *buckling*, con un espaciado de unos 300 km, en la región de Thaumasia, en el sureste de Tharsis. Esta deformación de gran escala habría sido producida en el Noéico Superior o Hespérico Inferior (~3.900 a 3.700 m.a.) y ha sido compa-

<sup>1</sup> Usamos la división de la historia marciana en los periodos Noéico (> 3.800 m.a.), Hespérico (3.800 a 3.550 m.a.) y Amazónico (< 3.550 m.a.). Está basada en contajes de cráteres, y los límites numéricos varían según los autores.





FIGURA 1: Situación de las fallas transcurrentes identificadas en el domo de Tharsis. F y S indican las fallas ya identificadas por Forsythe y Zimbelman (1988) y Schultz (1989) respectivamente. Mapa base de John Plescia (JPL); 8.300 km de ancho.

rada con la que afecta actualmente a sectores de la litosfera oceánica terrestre, como son los pliegues de gran radio (espaciado, 200 km) de la placa indoaustrialiana (McAdoo y Sandwell, 1985). Se ha propuesto aplicar a Marte la misma relación espaciado/espesor ( $\sim 4$ ), lo que permitiría definir un espesor aproximado de 75 km para la litosfera marciana en aquella época. Sin embargo, es dudoso que la relación sea lineal: Turcotte y Schubert (1982) proponen la ecuación

$$h = h_o (g / g_o)^{1/3} (\lambda / \lambda_o)^{4/3},$$

donde  $h_o$ ,  $g_o$  y  $\lambda_o$  son los valores de espesor litosférico, gravedad y espaciado para la Tierra, y  $h$ ,  $g$  y  $\lambda$  son los valores respectivos para Marte. El resultado de este cálculo es un espesor de sólo 50 a 60 km para la litosfera marciana del Noéico-Hespérico, lo que hace perfectamente imaginable su deformación por *buckling*. El problema que resta, sin embargo, no es menor: ¿Cuál fue el origen de los esfuerzos



que provocaron esta importante deformación? Como los modelos verticalistas del domo de Tharsis proponen una distribución de las fracturas totalmente distinta a la real, Schultz y Tanaka (1994) sospechan que estructuras compresivas de esta envergadura requieren la actuación de esfuerzos tangenciales, y sugieren una movilidad litosférica limitada. En nuestra opinión, la solución de Sleep (1994) cumple perfectamente este requerimiento, ya que (a) coincide en el tiempo con la edad supuesta para las deformaciones, y (b) el eje principal de compresión ( $\sigma_1$ ) es aproximadamente E-O (Sleep, su Fig. 3), justo el requerido para explicar las estructuras, esencialmente dirigidas N-S.

Esta discusión previa es importante a la hora de proponer un origen para las nuevas estructuras localizadas. En este caso, Schultz y Tanaka (1994) se decantan por un origen verticalista; pero, en nuestra opinión, cizallas de Riedel con desplazamientos superiores a los 200 km, como las ilustradas en la figura 2, requieren un campo de esfuerzos tangencial. Un segundo punto decisivo es el de la edad de las fracturas. Forsythe y Zimbelman (1988) y Schultz (1989) proponen edades del Hespérico Medio (3.700 a 3.600 m.a.) para los únicos ejemplos de tectónica transcurrente localizados antes de nuestro estudio. Sin embargo, muchas de las estructuras que hemos localizado cortan llanuras volcánicas escasamente craterizadas, que por tanto no pueden datar del Hespérico. Para cuantificar esta hipótesis hemos llevado a cabo contajes de cráteres en dos de estas zonas (25°S-67°W y 25°S-87°W). Usando las isocronas de Hartmann (1999) hemos obtenido para estas superficies edades de 3.000 a 1.000 m.a., y de unos 1.000 m.a. respectivamente, edades que representan la antigüedad máxima de las fallas. La fractura de aspecto más reciente es un graben de traza sigmoide y 500 km de longitud centrado en 5°S-125°W que corta a depósitos probablemente glaciares (Anguita y Moreno, 1992) en el flanco del volcán Arsia Mons. A la resolución de las imágenes Viking, estos depósitos carecen de cráteres, lo que certifica su origen muy reciente. Hasta donde sabemos, éste es el primer indicio de una neotectónica marciana.

En cuanto al origen de los esfuerzos que crearon estas fracturas recientes, un punto de interés es la coincidencia de  $\sigma_1$  para el antiguo episodio de *buckling* (E-W, como se dijo), para las fallas de rumbo de Nectaris Fossae (E-W a N80W, Schultz, 1989), y el deducido por nosotros para las cizallas de Riedel de Felis Dorsa ilustradas en la figura 2 (N75W). A partir de estos datos, podemos reconstruir la siguiente evolución tectónica:

\* Noeico Superior - Hespérico (~4.000-3.500 m.a.). La subducción al oeste de Tharsis (Sleep, 1994) provoca el *buckling* de una litosfera de un grosor similar a la litosfera oceánica en la Tierra actual. Se forma Valles Marineris, que actúa como una línea de debilidad litosférica que separa Thaumasia, más móvil, del resto de Tharsis.

\* Amazónico (1.000 m.a.;  $\leq 100$  m.a.). Se renueva el campo de esfuerzos con la misma dirección que el anterior;



FIGURA 2: Cizallas de Riedel en el área de Felis Dorsa. Mosaico Viking de 250 km de ancho centrado en 26°S-65°W. La dirección ( $\sigma_1$ ) de máxima compresión está orientada N75W.

pero la litosfera es demasiado gruesa para deformarse en su totalidad, y se produce una tectónica de piel fina que se refleja en crestas, cizallas de Riedel, y graben y desgarres sigmoides. No se ha propuesto ninguna causa para esta deformación reciente de la corteza marciana; y éste es (junto con el del agua) el principal problema geológico planteado sobre Marte en este momento.

## CONCLUSIONES

1. Se han localizado catorce nuevas zonas de fallas transcurrentes en el domo de Tharsis. Su origen parece requerir la actuación de esfuerzos tangenciales dirigidos en sentido E-W.

2. Observaciones geomorfológicas y estructurales han servido de base para proponer que Valles Marineris es un desgarre dextral transtensivo.

3. Las nuevas estructuras se superponen a otras de mayor envergadura y más antiguas, pero que responden a un campo de esfuerzos de igual orientación. Mientras que este campo antiguo podría explicarse por una etapa transitoria de movilidad litosférica, las deformaciones posteriores, algunas de las cuales podrían haberse producido hace mucho menos de mil millones de años, no han recibido una explicación satisfactoria.

## REFERENCIAS

- Anderson, F. S. y Grimm, R.E. (1998): Rift processes at the Valles Marineris, Mars: Constraints from gravity on necking and rate-depending strength evolution. *J. Geophys. Res.*, 103: 11113-11124.



- Anguita, F., y Moreno, F. (1992): Shear-induced folding in Arsia Mons aureole: Evidence for low-latitude Martian glaciations. *Earth, Moon, Planets*, 59: 11-22.
- Forsythe, R.D., y Zimbelman, J.R. (1988): Is the Gordii Dorsum escarpment on Mars an exhumed transcurrent fault? *Nature*, 336: 143-146.
- Hartmann, W.K. (1999): Martian cratering VI. Crater counts isochrons and evidence for recent volcanism from Mars Global Surveyor. *Meteor. Planet. Sci.*, 34: 167-177.
- McAdoo, D.C. y Sandwell, D.T. (1985): Folding of oceanic lithosphere. *J. Geophys. Res.*, 90: 8563-8569. 1985.
- Plescia, J.B. y Saunders, R.S. (1982): Tectonic history of the Tharsis region, Mars. *J. Geophys. Res.*, 87: 9775-9791.
- Schultz, R.A. (1989): Strike-slip faulting of ridged plains near Valles Marineris, Mars. *Nature*, 341: 424-426.
- Schultz, R.A., y Tanaka, K.L. (1994): Lithospheric-scale buckling and thrust structures on Mars: the Coprates rise and south Tharsis ridge belt. *J. Geophys. Res.*, 99: 8371-8385.
- Sleep, N.H. (1994): Martian plate tectonics. *J. Geophys. Res.*, 99: 5639-5655.
- Turcotte, D.L. y Schubert, G. (1982): *Geodynamics. Applications of continuum physics to geological problems*, 450 p., John Wiley & Sons, Nueva York.